

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-198465

(43)Date of publication of application : 11.07.2003

(51)Int.Cl. H04B 10/02
G02F 1/35
H01S 3/10
H01S 3/30
H04B 10/16
H04B 10/17
H04B 10/18
H04J 14/00
H04J 14/02

(21)Application number : 2001-390366

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 21.12.2001

(72)Inventor : TANAKA TOSHIKI

TORII KENICHI

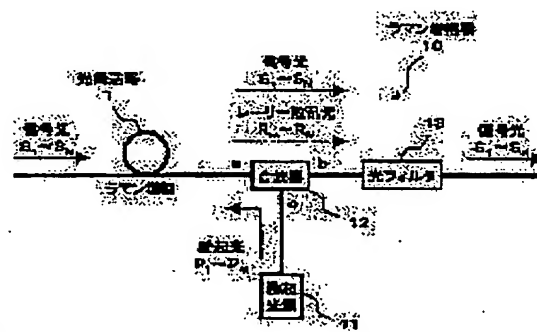
NAITO TAKAO

(54) RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a Raman amplifier and an optical transmission system capable of reducing characteristic degradation caused by stimulation light coexisting in the wavelength band of a signal light.

SOLUTION: This Raman amplifier 10 is provided with a stimulation light source 11 generating the stimulation lights P1-PM having the wavelength band overlapping with the wavelength band of the signal light, a multiplex part 12 supplying the stimulation lights P1-PM to an optical transmission line 1 as rear stimulation light, and an optical filter 13 suppressing the Rayleigh scattered light of the stimulation light included in the light transmitted through the multiplex part 12 from a port (a) to a port (b).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

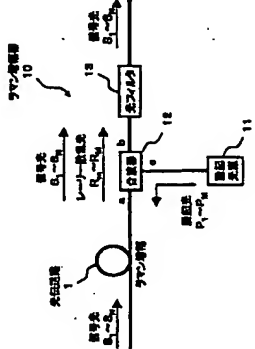
図1		図2	
図1	図2	図1	図2
(51) IntCl ⁷	P1	ラマン増幅器	ラマン増幅器
H04B 10/02	G02F 1/35	501	2K002
G02F 1/35	H01S 3/10	501	5F072
H01S 3/10	3/30	Z	5K002
3/30	H04B 9/00	M	
H04B 10/18		J	

特許請求の範囲 請求項 5 OL (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特開2001-390388(P2001-390388)	(71) 出願人	00005223 富士通株式会社
(22) 公開日	平成13年12月21日 (2001.12.21)	(72) 発明者	田中 俊哉 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(73) 発明者	島田 健一 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(74) 代理人	100078330 弁理士 飯島 晋二 哉

(54) 発明の名称 ラマン増幅器および光伝送システム

(57) 要約
【課題】 信号光の波長帯域内に存在する励起光が原因となって生じる特性劣化を低減することのできるラマン増幅器および光伝送システムを提供する。
【解決手段】 本発明のラマン増幅器10は、信号光の波長帯域内に存在する励起光P₁、P₂を光伝送路1に伝送する励起光源11と、励起光P₁、P₂を光伝送路1に伝送する励起光源12と、励起光P₁、P₂を光伝送路12と、合波部13をポートaからポートbに透過した光に含まれる励起光のレーザ光を抑制する光フィルタ13とを備えて構成される。



(13) 特許請求の範囲

【請求項1】 信号光が伝送される光伝送路上の増幅媒体に励起光を供給し、励起増幅媒体を伝送する信号光をラマン増幅するラマン増幅器であって、
励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を有するときに、
前記増幅媒体を伝送した光に含まれる、前記信号光の波長帯域に重なる領域内の励起光と同一波長の光成分を抑制可能な励起光抑制部を備えて構成されたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項2】 請求項1に記載のラマン増幅器であって、励起光を生ずる励起光源部と、
励起増幅媒体からの励起光を信号光の伝送方向とは逆方向に伝送する後方励起光として前記増幅媒体に供給する合波部と、を備え、
前記励起光波長抑制部が、前記増幅媒体を伝送した光に含まれる後方励起光のレーザ光成分を抑制することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項3】 請求項2に記載のラマン増幅器であって、前記合波部は、前記増幅媒体の信号光出力端に接続する第1ポートと、前記励起光波長抑制部の出力端に接続する第2ポートと、前記励起光波長抑制部の出力端に接続する第3ポートと、を有し、前記第1ポートから前記第2ポートに向かう光を伝送可能な方向性を持つことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項4】 請求項1に記載のラマン増幅器であって、励起光を生ずる励起光源部と、
励起増幅媒体からの励起光を信号光の伝送方向と同じ方向に伝送する前記励起光として前記増幅媒体に供給する合波部と、を備え、
前記励起光波長抑制部が、前記増幅媒体を伝送した光に含まれる前記励起光のレーザ光成分を抑制することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項5】 信号光が伝送される光伝送路上の増幅媒体に励起光を供給し、励起増幅媒体を伝送する信号光をラマン増幅するラマン増幅器であって、
励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を有するときに、
前記増幅媒体を伝送した光に含まれる、前記信号光の波長帯域に重なる領域内の励起光と同一波長の光成分を抑制可能な励起光抑制部を備えて構成されたことを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】
【0001】
【発明の属する技術分野】 本発明は、光伝送路上の増幅媒体に励起光を供給して信号光をラマン増幅するラマン増幅器および光伝送システムに関し、特に、信号光の波長帯域内に存在する励起光が原因となって生じる特性劣化を低減させるための技術に関する。

(0002)

【従来の技術】 従来、長距離の光伝送システムでは光信号を電気信号に変換し、タイムリジ再生(timing)を発生させる(reshaping)および再同期再生(resynchronization)を行う再生再生増幅器を用いて伝送を行っていた。しかし、現在では光増幅器の応用が進み、光増幅器を励起増幅器として用いる光増幅中継伝送方式が検討されている。光増幅中継器を光増幅中継器に置き換えることにより、中継器内の部品点数を大幅に削減し、信頼性を確保すると共に大幅なコストダウンが見込まれる。

【0003】 また、光伝送システムの大容量化を実現する方法のひとつとして、1本の伝送路に2つ以上の異なる波長を持つ光信号を多重して伝送する波長多重(WDM)光伝送方式が注目されている。上記の光増幅中継伝送方式とWDM光伝送方式とを組み合わせたWDM光増幅中継伝送方式においては、光増幅器を用いてWDM信号光を一括して増幅することが可能であり、簡素な構成(経路)で、大容量かつ長距離伝送が実現可能である。

【0004】 図25は、一般的なWDM光増幅中継伝送システムの構成例を示す図である。図25のシステムは、例えば、光送信機101と、光受信機102と、それらを送受信間を接続する光伝送路103と、この光伝送路103の途中に所要の距離で位置される複数の光増幅器104とから構成される。光伝送路101は、波長異なる複数の光信号をそれぞれ出力する複数の光送信機(E/O)101Aと、複数の光信号を波長多重する合波器101Bと、合波器101BからのWDM信号光を所要のレベルに増幅して光伝送路103に出力する光増幅器103を介して伝送される各波長のWDM信号光を所要のレベルに増幅するプリアンプ102Cと、プリアンプ102Cからの出力光を波長に応じて複数の光信号に分ける分波器102Bと、複数の光信号をそれぞれ受光増幅する複数の光受信機(O/E)102Aとを有する。光伝送路103は、光伝送路101および光受信機102の間に存在する複数の中継区間を有する。光伝送路101から伝送されるWDM信号光は、光伝送路103を伝送し、中継区間に伝送される光増幅器104にて光増幅され、再び光伝送路103を伝送し、それを繰り返して光受信機102まで伝送される。

【0005】 上記のようなWDM光増幅中継伝送システムの場合、例えば、例えば、エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)が一般に用いられる。このEDFAの利得波長帯域は1.55μm帯(Cバンド)であり、その利得帯域を長波長側へシフトしたGS-E DFA (Gain shifted-EDFA) の利得波長帯域は1.58μm帯(Lバンド)である。EDFAおよびGS-E DFAの各利得波長帯域は30nm以上あり、Cバンド

22 光フィルタ
27, 30 ファイバブラッググレーティング

21

(12)

【図30】従来のラマン増幅器における4光波混合の周
波数を説明するための図である。

【図31】出力ミキサ部を備えた従来のラマン増幅器に
おける問題点を説明するための図である。

【図32】OTDR測定のための光線を描いた従来の光
伝送システムにおける問題点を説明するための図であ
る。

【符号の説明】
1 光伝送路

10 ラマン増幅器

11, 18 励起光源

12, 19, 23 合波器

12A 光サーキュレータ

*

13, 25, 27, 30 光フィルタ

13A ファイバブラッググレーティング

14, 15 光アイソレータ

16, 21 分波器

17 出力ミキサ部

20 利得増大部

22, 28 利得増大器

207 OTDR用光源

P₁~P₄ 励起光

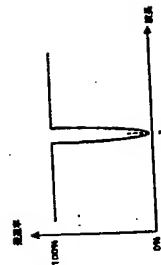
R₁~R₄ レーザ一般乱光

S₁~S₄ 信号光

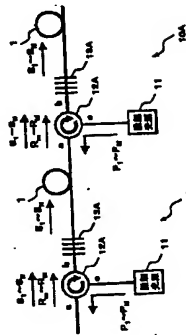
【図2】



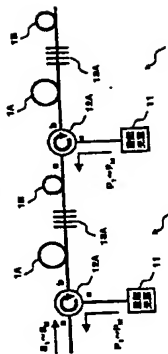
【図4】



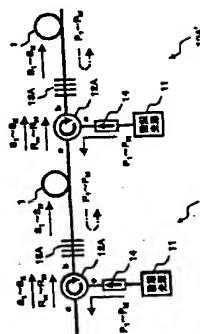
【図3】



【図6】



【図5】



20

成例を示すブロック図である。

【図6】本発明にかかるラマン増幅器の第2実施形態の
構成を示すブロック図である。

【図7】第2実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示すブロック図である。

【図8】本発明にかかるラマン増幅器の第3実施形態の
構成を示すブロック図である。

【図9】第3実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示すブロック図である。

【図10】第3実施形態のラマン増幅器に共通した他の
構成を示すブロック図である。

【図11】第3実施形態のラマン増幅器に共通した他の
構成を示すブロック図である。

【図12】図11の構成例に関する変形例を示すブロッ
ク図である。

【図13】図11の構成例に関する他の変形例を示すブ
ロック図である。

【図14】本発明のラマン増幅器に用いられる光フィル
タの特性例を示す図である。

【図15】本発明にかかる光伝送システムにおける第1実施形
態の構成例を示す図である。

【図16】第1実施形態の光伝送システムにおける動作
を説明するための概略図である。

【図17】第1実施形態の光伝送システムに共通した他
の構成例を示す図である。

【図18】本発明にかかる光伝送システムの第2実施形
態の構成例を示す図である。

【図19】第2実施形態の光伝送システムにおける利得
等化部の構成例を示す図である。

【図20】図19の分波器の特性を説明するための図であ
る。

【図21】本発明にかかる光伝送システムの第3実施形
態の構成例を示す図である。

【図22】第3実施形態の光伝送システムに共通した他
の構成例を示す図である。

【図23】本発明にかかる光伝送システムの第4実施形
態の構成例を示す図である。

【図24】第4実施形態の光伝送システムに共通した他
の構成例を示す図である。

【図25】一般的なWDM光増幅中継伝送システムの構
成例を示す図である。

【図26】従来のラマン増幅器の構成例を示す図であ
る。

【図27】従来のラマン増幅器における励起光および信
号光の波長配置例を示す図である。

【図28】従来のラマン増幅器において励起光の合波器
として光サーキュレータを用いた一例を示す図である。

【図29】従来のラマン増幅器において信号光の広帯域
化を図った励起光の波長配置例を示す図である。

19

する光受信装置を含み、前記励起光波長抑制部が、前記
光受信装置内に設けられたことを特徴とする光伝送シ
ステム。

【0078】（付記16）付記11に記載の光伝送シ
ステムであって、信号光が互いに異なる方向に伝播する
一対の光伝送路と、該各光伝送路の状態が光時間領域反
射計（OTDR）を利用して測定可能になるように、各
々の光伝送路の間に互いに接続したOTDR用光源と、
その光伝送路の間に互いに接続したOTDR用光源と、
を有し、前記励起光波長抑制部が、前記OTDR用光源
上に配置されたことを特徴とする光伝送システム。

【0079】（付記17）付記11に記載の光伝送シ
ステムであって、信号光が互いに異なる方向に伝播する
一対の光伝送路と、該各光伝送路の状態が光時間領域反
射計（OTDR）を利用して測定可能になるように、各
々の光伝送路の間に互いに接続したOTDR用光源と、
を有し、前記励起光波長抑制部が、前記各光伝送路上に
おける前記OTDR用光源との接続部近傍にそれぞれ配
置されたことを特徴とする光伝送システム。

【0080】（付記18）付記11に記載の光伝送シ
ステムであって、前記励起光波長抑制部は、信号光の波
長帯域外にある励起光と同一波長の光成分が抑制するこ
とを特徴とする光伝送システム。

【0081】（付記19）付記11に記載の光伝送シ
ステムであって、前記励起光波長抑制部は、励起光の波
長に対応して透過率が急峻に変化する光フィルタであ
ることを特徴とする光伝送システム。

【0082】
【発明の効果】以上説明したように、本発明のラマン増
幅器および光伝送システムによれば、励起光の波長帯域
が信号光の波長帯域に重なるような波長配置を採用して
信号光の広帯域化を図るような場合でも、信号光の波長
帯域内に含まれる励起光と同一波長の光成分を抑制可能
な励起光波長抑制部を設けたことにより、後方励起光
のレーザ一般乱光や前方励起光の漏れ光を殆ど含んでい
ないラマン増幅された信号光を伝送することが可能にな
る。これにより、励起光に起因して生じるクロストーク
や4光波混合などによる特性劣化を低減することので
き、信号光の広帯域化を実現した大容量の光伝送シス
テムを構築することが可能になる。

【図面の簡単な説明】
【図1】本発明にかかるラマン増幅器の基本構成を示す
ブロック図である。

【図2】図1の基本構成における励起光および信号光の
波長配置の一例を示す図である。

【図3】本発明にかかるラマン増幅器の第1実施形態の
構成を示すブロック図である。

【図4】第1実施形態のラマン増幅器におけるファイバ
ブラッググレーティングのフィルタ特性を説明するため
の図である。

【図5】第1実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示す図である。

【図6】第2実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示す図である。

【図7】第2実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示す図である。

【図8】第3実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示す図である。

【図9】第3実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示す図である。

【図10】第3実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示す図である。

【図11】第3実施形態のラマン増幅器に共通した他の構
成を示す図である。

【図12】図11の構成例に関する変形例を示すブロッ
ク図である。

【図13】図11の構成例に関する他の変形例を示すブロッ
ク図である。

【図14】本発明のラマン増幅器に用いられる光フィル
タの特性例を示す図である。

【図15】本発明にかかる光伝送システムにおける第1実施形
態の構成例を示す図である。

【図16】第1実施形態の光伝送システムにおける動作
を説明するための概略図である。

【図17】第1実施形態の光伝送システムに共通した他
の構成例を示す図である。

【図18】本発明にかかる光伝送システムの第2実施形
態の構成例を示す図である。

【図19】第2実施形態の光伝送システムにおける利得
等化部の構成例を示す図である。

【図20】図19の分波器の特性を説明するための図であ
る。

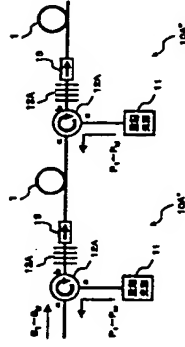
【図21】本発明にかかる光伝送システムの第3実施形
態の構成例を示す図である。

【図22】第3実施形態の光伝送システムに共通した他
の構成例を示す図である。

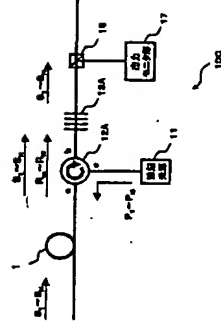
【図23】本発明にかかる光伝送システムの第4実施形
態の構成例を示す図である。

【図24】第4実施形態の光伝送システムに共通した他
の構成例を示す図である。

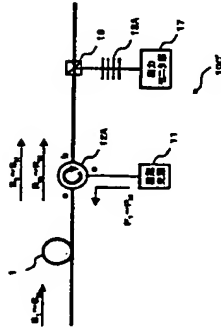
【図7】



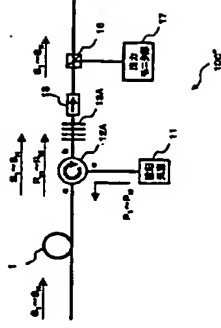
【図8】



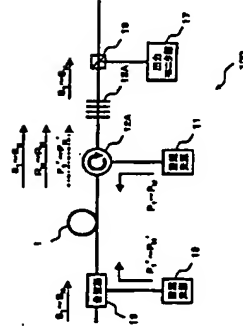
【図9】



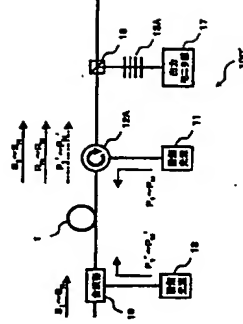
【図10】



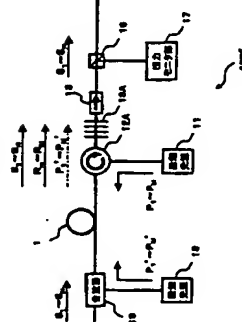
【図11】



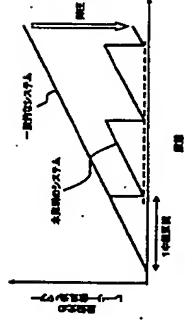
【図12】



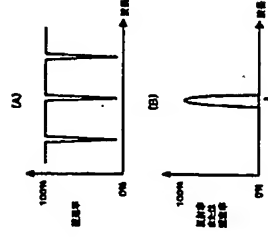
【図13】



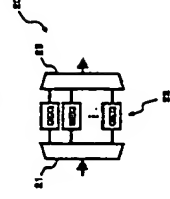
【図16】



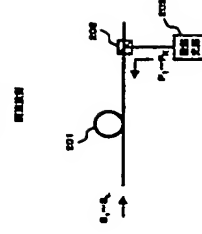
【図14】



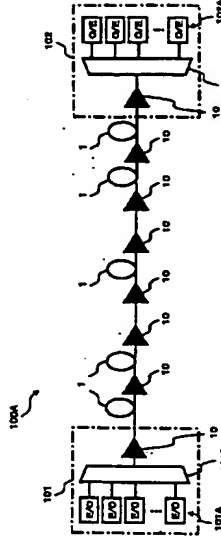
【図19】



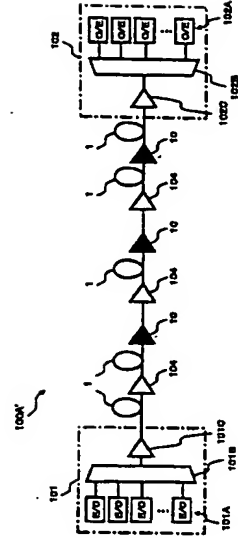
【図28】



【図15】

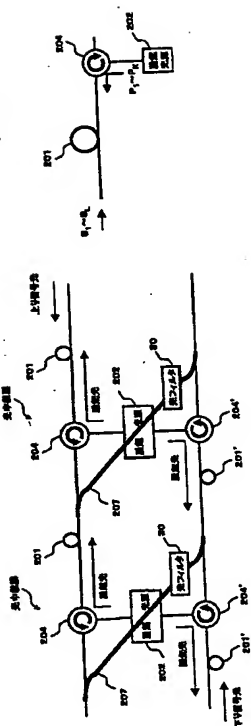


【図17】

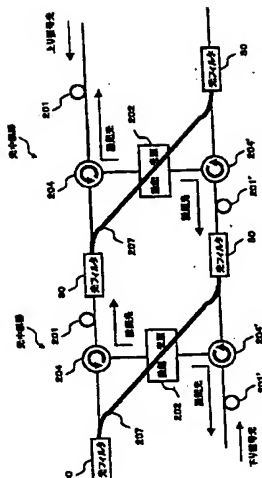


【図23】

図23

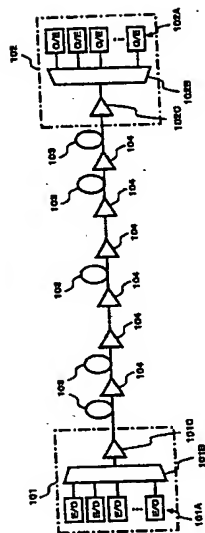


【図24】

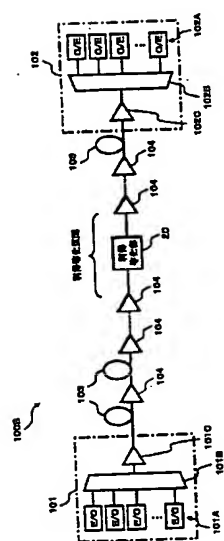


【図25】

図25

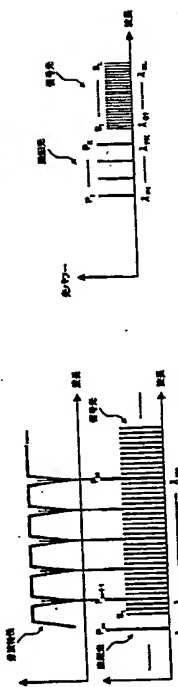


【図18】

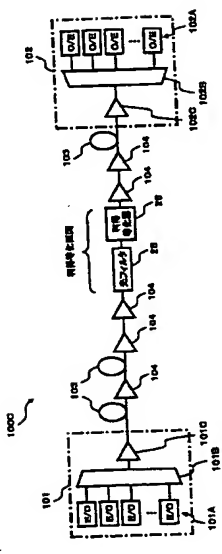


【図20】

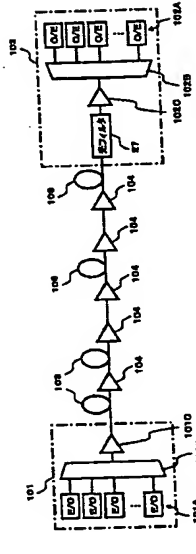
図20



【図21】



【図22】



特開2003-188485

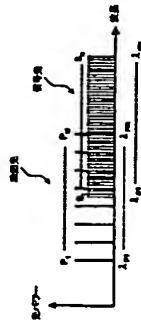
(12)

特開2003-188485

(18)

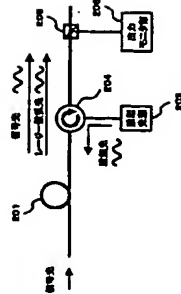
【図28】

図28は、図27に示すように、



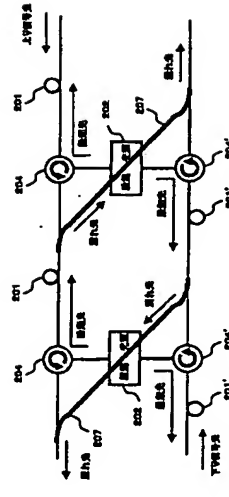
【図31】

図31は、図30に示すように、



【図32】

図32は、図31に示すように、



スラント型ファイバグレーティングを用いた利得等化器

光電子技術研究所 丹 羽 敦 彦^{*1}・二本柳 明 展^{*1}・奥 出 聡^{*1}・田 中 大 一 郎^{*2}
光ファイバ事業部 須 藤 正 明^{*3}

Gain Equalizer Using Slanted Fiber Bragg Gratings

A. Niwa, M. Sudoh, A. Nihon-yanagi, S. Okude & D. Tanaka

スラント型ファイバグレーティング (SFBG) を用いることで、広帯域かつ等化偏差の小さい利得等化器を実現した。作製した広帯域SFBG利得等化器では、39nmの帯域幅で利得平坦性が0.19dBp-pという優れた特性を得た。さらにTelcordia GR-1209 coreおよびGR-1221 core準拠試験を行い、その高信頼性を確認した。

A gain equalizer with a wide operation bandwidth has been realized by using slanted fiber Bragg grating (SFBG) technology. The fabricated SFBG has superior quality of a small loss deviation of 0.19 dBp-p to the target loss spectrum over 39nm wavelength range. Moreover, the reliability tests in accordance with Telcordia GR-1209 core and GR-1221 core requirements were performed and the high reliability has been confirmed.

1. ま え が き

近年、インターネットの普及などにより拡大した通信需要にこたえるため、高密度波長多重 (Dense Wavelength Division Multiplexing, 以下DWDM) 伝送技術を導入した光通信システムが構築されている。このような光通信システムでは、信号光の増幅のため、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (Erbium-doped Fiber Amplifier, 以下EDFA) が用いられるが、EDFAは比較的利得波長帯域が広い反面、波長帯域内で増幅度に波長依存性を持つという欠点がある。

DWDM伝送では多段中継増幅の場合、もっともレベルが低い信号光の品質により伝送距離が制限されるため、利得波長特性は平坦であることが望ましい。このため、EDFAの利得を平坦化する利得等化器 (Gain Equalizer, 以下GEQ) が必要となる。今後、さらに増え続ける通信需要に対応して、EDFAの利得波長帯域の拡大が要求されていることから、GEQにも等化波長帯域の拡大が求められている。

GEQとしてはこれまでに、長周期型ファイバグレーティング^{1) 2)}、エタロンフィルタ³⁾、誘電体多層膜フィルタ⁴⁾など各種方式が用いられてきた。今回当社は従来のGEQに比べて設計自由度が高く広帯域な等化特性が実現できるスラント型光ファイバグレーティング (Slanted Fiber Bragg Grating, 以下SFBG) を用いたGEQ (SFBG-GEQ) の開発を行い、利得等化帯域幅39nmにおいて等化偏差

(目標損失との差) 0.19dBp-pを実現した。

本報では、SFBG-GEQの動作原理、光学特性、および信頼性について述べる。

2. SFBG-GEQの原理

通常の短周期型FGは反射型素子であるため、GEQに適用すると、FGからの反射光がEDFAに戻ることで増幅特性に悪影響を与えたり、グレーティング内の多重反射により透過スペクトルにリップルを生じたりする。このような問題を回避するために、(1) FGからの反射光を抑制し、(2) 主に損失だけを発生させ、(3) 干渉によるリップルを抑えることが可能な、SFBG⁵⁾を利用した。

SFBGは、図1のようにグレーティング方向 (屈折率上昇がおきている面に垂直な方向) を光ファイバ軸から傾ける (スラントさせる、以後この角度をスラント角度という) ことにより、導波モードからそれと逆方向に伝搬する導波モード (反射モード) への結合を抑制し、グレーティング周期で決まる特定波長の光を後進クラッドモードへ結合させる。クラッドモードに結合した光はファイバ外に放出され、損失となるので、特定波長に損失を与える波長フィルタとして機能する。このときスラント

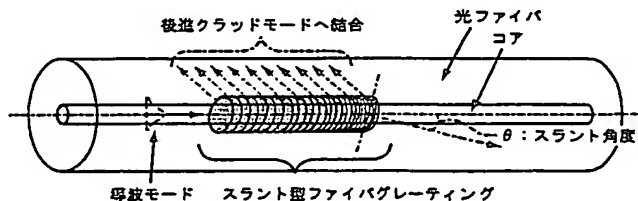


図1 SFBGの動作原理
Operation principle of SFBG

*1 光通信研究部

*2 光通信研究部グループ長

*3 光技術部

角度を最適化することで反射モードの結合は十分に小さくすることができ、従来の短周期型FGでみられた透過損失リップルを抑制できる。

最適なスラント角度を持つ短いグレーティングの透過損失スペクトル（基本スペクトル）は、図2 (a) に示すようにグレーティング周期に対応した波長を中心として、ある広がりを持った分布となる。グレーティング周期が変化してもこのスペクトル形状は保持されたまま、中心波長のみが変化する。よって、グレーティングの周期が長手方向に徐々に変化するチャートグレーティング構造を採用し、図2 (b) に示すようにそれぞれの位置での屈折率変調振幅を制御することで、図2 (c) に示すように所望の損失を得ることができる。

3. SFBG用光ファイバ

広帯域のGEQを実現するためには、より急峻な損失波長変化を実現する必要がある。このためには、図2 (a) に示す基本スペクトル幅はできるだけ小さいことが望ましい。例えば、通常のSMファイバを用いた場合、反射が十分に抑制されるスラント角度では、基本スペクトル幅が20nmを越えるためGEQとして利用することができない。EDFAのGEQとしては、基本スペクトル幅10nm程度以下が必要とされる。そのため、コアおよびクラッドに対する紫外光感受性を最適化し、狭帯域な基本スペクトルが得られるSFBG専用ファイバの開発を行った。図3にそのファイバの基本スペクトルを示す。基本スペクトルの帯域幅は非常に狭帯域であり、より複雑な損失スペクトルが実現可能になった。基本スペクトルの帯域幅を最大損失の1/10のときの波長帯域幅として定義すると、それぞれ7nmおよび12nmとなる。

4. 微小リップルの低減

SFBGは反射モードへの結合を抑えているので、グレーティング内の多重反射による損失リップルは十分に小さいものの、クラッドからコアへ戻ってくる光がわずかに存在し、その干渉により0.2dBp-p程度のリップルが存在する。この値は、長距離光中継システムでEDFAとSFBG-GEQを多段に接続した場合、信号の大きな歪みの原因に

なる可能性があるため低減する必要がある。そこでリップル低減の方法として、クラッド周囲を光ファイバと同程度の屈折率を持つ材料で覆い、コアに光が戻らないような構造を採用した。図4に屈折率が同程度の樹脂で覆う前後のSFBG-GEQの透過特性を示す。ファイバ周囲を覆った場合（太線）リップルがほぼなくなり、平均的な損失は変化していないことがわかる。

5. 広帯域SFBG-GEQ

5.1 広帯域SFBG-GEQの設計

一般的なEDFAの利得波長特性は、図5に示すような

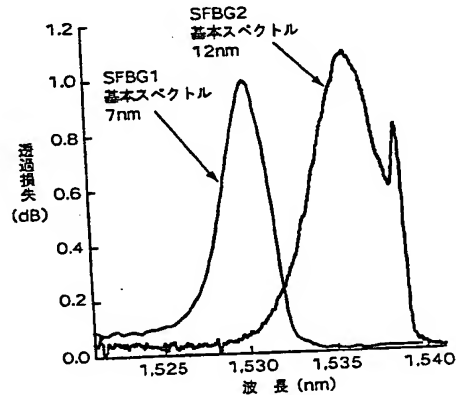


図3 SFBG用ファイバの基本スペクトル
Fundamental spectra of two types of SFBG fiber

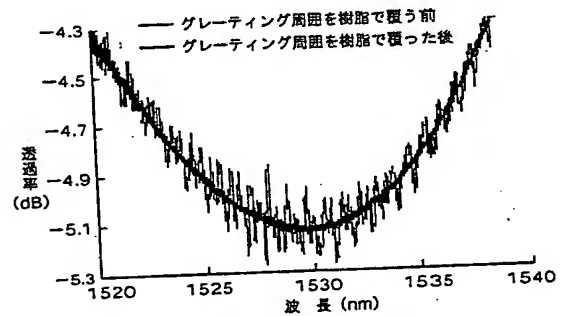


図4 微小リップルの低減
Decrease of small ripple

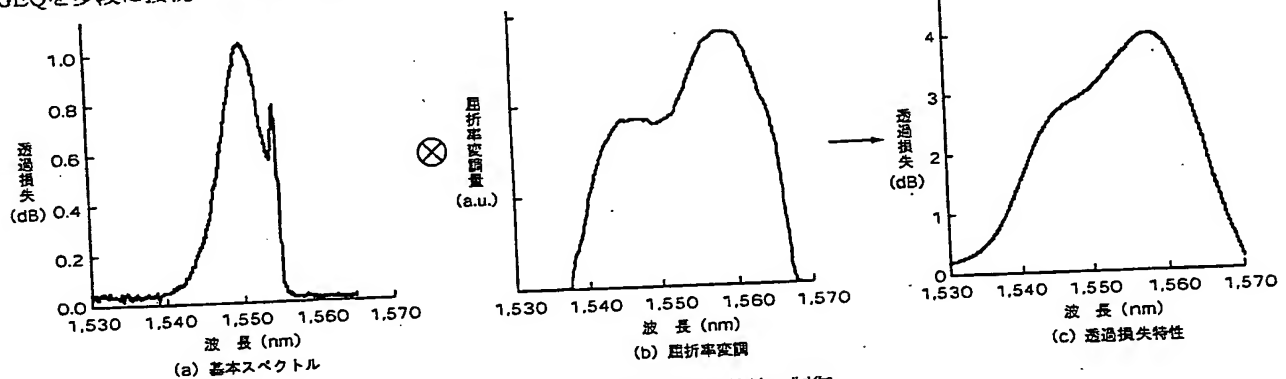


図2 SFBG-GEQ透過損失特性の制御
Control of SFBG-GEQ transmission spectrum

1,530nm付近と1,560nm付近に2つの異なるピークを持つ。従来の帯域幅20~30nm程度のEDFAでは1,560nm帯のみを利得等化して利用していたが、より広帯域のEDFAを実現するためには1,530nm帯の増幅帯域も利用する必要がある。これら2つの帯域をすべて等化できるGEQを実現するため、それぞれの範囲を個別に等化するよう異なる2種類のSFBGを組み合わせ、図5上に示すように2つを直列に接続することで目標とする損失波長特性を実現できるように設計を行った。SFBG1には図3に示すような7nmの狭い帯域幅の基本スペクトルを持つファイバを用い、図5の1,530nm付近の急峻なピークを等化することに主眼を置いた。一方、1,560nm付近のピークは急峻ではないため、SFBG2には容易に大きな損失の得られる12nmの基本スペクトル帯域幅を持つファイバを採用した。それぞれの帯域に最適化したSFBG1とSFBG2を組み合わせることで、設計上1,528.2nm~1,567.2nmの39nmの帯域を

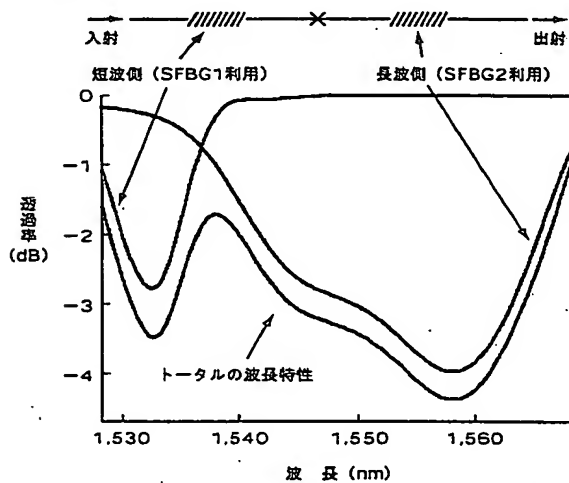


図5 広帯域SFBG-GEQ設計透過スペクトルおよび構成
Structure and designed transmission spectrum of wide bandwidth SFBG-GEQ

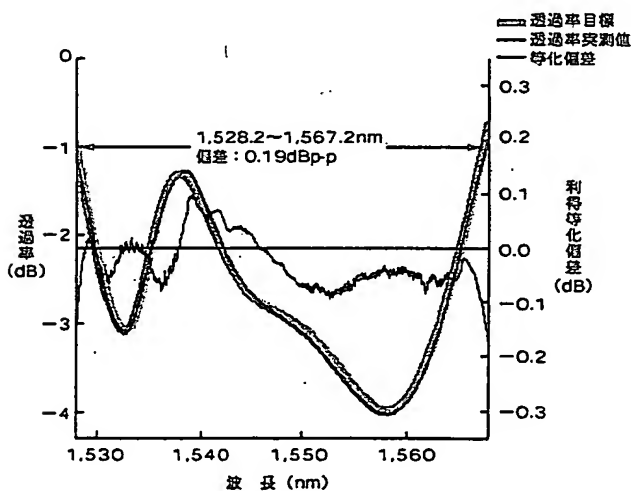


図6 作製した広帯域SFBG-GEQの透過特性および
目標からの偏差
Loss spectrum of the fabricated wide bandwidth SFBG-GEQ

0.098dBp-pで等化できるSFBG-GEQが実現できる。

5.2 広帯域SFBG-GEQの光学特性

作製した広帯域SFBG-GEQの透過スペクトル、目標スペクトルおよび目標からの偏差を図6に示す。得られた透過スペクトルは目標とほぼ重なっていることがわかる。偏差の最大値と最小値の差は1,528.2~1,567.2nmの範囲(39nm帯域)で0.19dBp-pであった。この値は前節で示した設計値よりも若干悪い値であるが、従来のGEQと比較して広帯域かつ低偏差である。

反射特性を図7に示す。スラント角度の最適化により反射率は十分低く抑えられており、使用帯域内での最大反射率は-27dBである。その他光学諸特性を表1にまとめた。

6. 信頼性

SFBG-GEQのパッケージ構造として、これまでにわれわれが開発した高信頼度光カプラ、光ファイバグレーティングと同じ構造を採用した。SFBG-GEQの信頼性を確

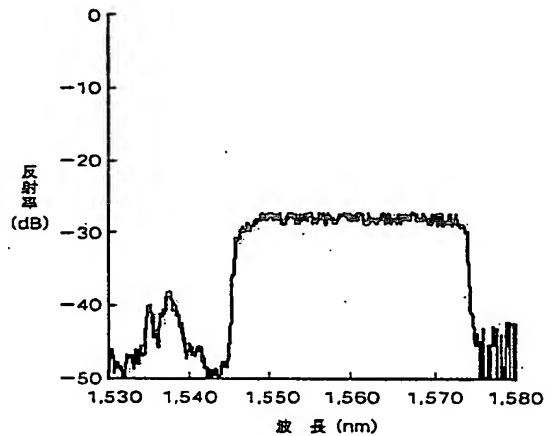


図7 広帯域SFBG-GEQの反射特性
Reflection spectrum of wide bandwidth SFBG-GEQ

表1 光学諸特性
Optical characteristics

項目	数値
挿入損失	0.7 dB
PDL	<0.1 dB
波長分散	0~0.1 ps/nm
温度特性	0.01 nm/℃
微小リップル	<0.03 dB

表2 信頼性試験の主な項目
Main test items of reliability test

試験項目	条件
ヒートサイクル試験	75/-40℃ 5,000h
高温高湿試験	75℃ 90% R.H. 5,000h
高温試験	85℃ 5,000h
低温試験	-40℃ 5,000h
振動試験	正弦波 / ランダム3軸
衝撃試験	1,000G 1ms 3軸
引っ張り試験	水平450gf / 垂直230gf

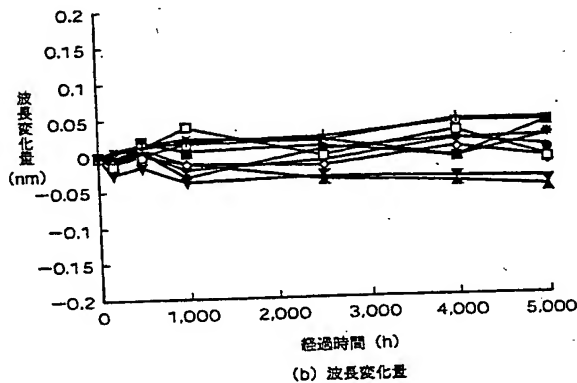
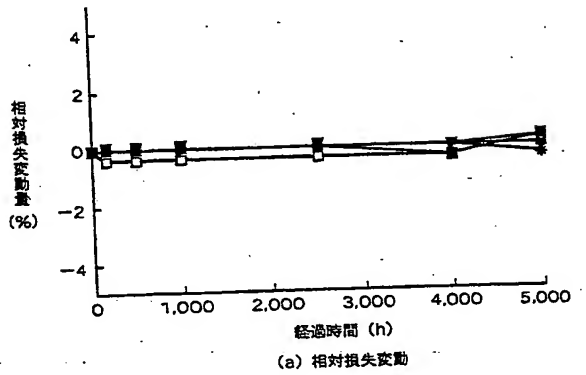


図8 低温試験結果
Results of low temperature test

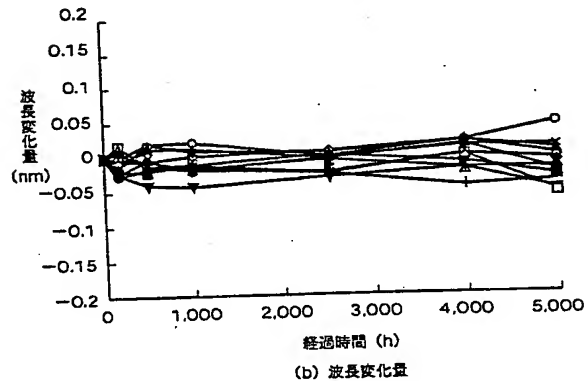
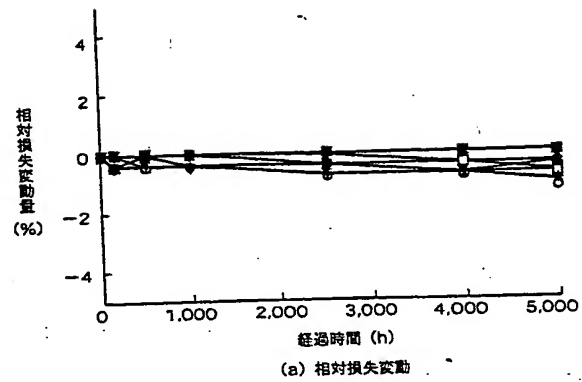


図9 ヒートサイクル試験結果
Results of temperature cycle test

認するために、Telcordia GR-1221 core およびGR-1209 core準拠の試験を実施した。主な試験項目および条件を表2に示す。試験に対する評価は以下の項目について行った。

- ・最大透過損失値（初期損失に対する相対変化）
- ・最大透過損失波長（損失が最大になる波長）
- ・挿入損失

試験結果の例として、図8、図9に低温試験、ヒートサイクル試験の結果を示す。5,000時間後の最大透過損失の変動幅は±1%以内（約±0.03dB以内）であり、最大透過損失波長の変動幅は±0.05nm以内であった。これらの値はいずれも測定精度以内で、特性変動は非常に小さいことがわかる。その他の試験結果においても、特性の変動は非常に小さく、SFBG-GEQは高い信頼性を持っていることが確認できた。

7. む す び

スラント型ファイバグレーティングを用いて、39nm帯域の広帯域SFBG-GEQを実現した。広帯域SFBG-GEQの利得等化特性は39nmの帯域で利得等化偏差0.19dBp-pであった。実現した特性は、従来の利得等化技術と比べ広帯域かつ低偏差であり、優れた利得等化技術であるといえ

る。また信頼性の点においても、Telcordia GR-1221core およびGR-1209core準拠の試験により十分高い信頼性を持つことが確認できた。

DWDM伝送方式においては信号帯域拡大の傾向が続いており、SFBG-GEQは次世代の広帯域EDFAを実現するために必須のデバイスとなると期待される。

参 考 文 献

- 1) A. M. Vengsarkar, et al: Long-period fiber-grating-based gain equalizers, Opt. Lett., Vol.21, pp. 336-338, 1996
- 2) K. Shima, et al: A novel temperature-insensitive long-period fiber grating using a boron-codope-germanosilicate-core fiber, Tech. Digest OFC'97, FB2, pp. 347-348, 1997
- 3) T. Naito, et al.: Gain equalizer in long-haul WDM transmission system, IEICE Trans. Electron., Vol.E81-C, 8, pp. 1293-1300, 1998
- 4) N. Shimojoh, et al.: New gain equalization scheme in WDM optical amplifier repeated transmission systems, OECC'96, Technical Digest, 17B3-3, pp. 120-121, 1996
- 5) M. J. Holmes, et al: Physical properties of optical fiber sidetap grating filters: Free-space model, IEEE J. Selected Topics Quantum Electron., Vol.5, pp. 1353-1365, 1999